

Г.В. Гапіч¹, Д.С. Пікареня², Л.М. Рудаков¹, Н.М. Максимова¹, Т.К. Макарова¹¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна²Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, УкраїнаОЦІНКА РИЗИКУ АВАРІЇ ТА РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ
ГРУНТОВОЇ ГРЕБЛІ ХВОСТОСХОВИЩА

Представлено аналіз технічного стану та ризику виникнення аварійної ситуації на ґрунтовій греблі хвостосховища за сучасних умов експлуатації. Інтегральна оцінка ризику аварії на гідротехнічній споруді визначена на основі встановленого ступеня небезпеки і рівня вразливості та оцінена за принципом перетину цих подій. Виконано розрахунок та моделювання імовірного розвитку процесу руйнування споруди. Встановлено загальні показники тривалості гідродинамічної аварії та параметри утворення прорану в тілі греблі.

Ключові слова: ґрунтова дамба, хвостосховище, гідродинамічна аварія, інтегральна оцінка ризику.

Постановка проблеми

Розвиток гірничо-металургійної та енергетичної галузей пов'язані з накопиченням значної кількості промислових відходів виробництва. За тривалі терміни експлуатації площі та об'єми хвостів збагачення і виробничих шламів набули значних розмірів. Це суттєво погіршує екологічну ситуацію на прилеглих територіях та, у значній кількості випадків, негативно впливає на стан екологічної і техногенної безпеки.

Хвостові та шламові господарства, як правило, створюються у понижених формах рельєфу (яри, балки) та мають у своєму складі огорожувальні дамби обвалування і греблі. Відмітки деяких гідротехнічних споруд (ГТС) сягають понад 100 м відносно поверхні прилеглих територій, а відсутність земельних ресурсів і постійне накопичення відходів обумовлюють необхідність нарощування їх висоти.

Так, наприклад, у Дніпропетровській області найбільші площі території зайняті під промисловими накопичувачами відходів гірничодобувної та металургійної промисловості (табл. 1). Загальна площа хвостово- і шламосховищ становить 9030 га, що складає 35% від загальної структури земель порушених гірничими роботами.

Разом з тим, виникає потреба у забезпеченні вимог щодо міцності, стійкості, надійності та безпеки ГТС. Слід відмітити, що переважна більшість шламонакопичувачів і хвостосховищ були запроєктовані у минулому столітті та на сьогодні не відповідають чинним нормам державних стандартів, які регламентують їх безпечну експлуатацію. На підприємствах здебільшого відсутні належні плани дій у випадку виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних з гідродинамічними аваріями у випадку прориву споруд.

Таблиця 1

Площі та структура земель порушених гірничими роботами у Дніпропетровській області

Вплив	Площа, га	Структура, %
Хвостосховища та шламонакопичувачі	9030	35
Кар'єри та шахти	6523	25
Деформація поверхні від підземних робіт	5916	23
Відвали	4497	17
Всього	25966	100

Недостатньо вивчається стан інженерної обстановки у нижньому б'єфі огорожувальних дамб і гребель, що загрожує не лише елементам господарської інфраструктури, а й життю і здоров'ю людей.

Таким чином, важливим елементом забезпечення надійності і безпеки під час експлуатації подібних об'єктів є прогнозування аварійних ризиків та наслідків прориву гідротехнічних споруд. Це надасть змогу попередити або запобігти негативній інженерній обстановці, геоекологічним та соціальним наслідкам в нижньому б'єфі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Світовий та вітчизняний досвід експлуатації накопичувачів промислових відходів виробництва засвідчує тенденцію до збільшення кількості аварій та відповідно людських жертв і загрозливих наслідків екологічного, соціального та економічного характеру. Даному питанню присвячені роботи багатьох вчених: Benjamin K. Sovacool, Matthew Kryman, Emily Laine [1]. Розрахунки параметрів прориву та наслідків гідродинамічних аварій представлені в роботах M. Rico, G. Benito, A. Díez-Herrero, D.

Kossoff, W. E. Dubbin, M. Alfredsson, M. G. Macklin, K. A. Hudson-Edwards [2, 3]

Серед відомих вітчизняних дослідників, значна увага у забезпеченні надійності та безпеки гідротехнічних споруд та огорожувальних дамб обвалування приділяється у працях Д. В. Стефанишина, С. В. Сольського та ін. [4-6].

Концепцію забезпечення сталого розвитку та поведінки з відходами виробництва, а також можливістю повторної переробки хвостів збагачення різних руд та рекультивації порушених гірничими роботами територій, присвячені роботи О. М. Сметани та Н. А. Сметани [7]

Мета, задачі та методика досліджень

Метою та задачами досліджень є встановлення показника інтегрального ризику аварії та розрахунок параметрів процесу руйнування ґрунтової греблі хвостосховища на прикладі об'єкту Вільногірського гірничо-збагачувального комбінату (ВГМК). Дані показники можуть слугувати орієнтиром для експлуатуючої організації під час прийняття планових та прогнозних рішень у часі стосовно рівнів забезпечення надійності та безпеки роботи напірної ГТС.

Під час досліджень авторами використані наступні методи: попередні візуальні та інструмента-

льні діагностичні обстеження технічного стану споруди, які викладені в роботі [8]; математична та аналітична оцінка показників ризику аварії та процесу руйнування греблі внаслідок утворення прорану виконані спираючись на загальновідомі методики [9, 10]; обробка та представлення отриманих результатів досліджень виконані із застосуванням сучасних комп'ютерних програмних комплексів.

Викладення основного матеріалу

Вільногірський ГМК має у своєму складі два крупних хвостосховища в балках Скажена і Крута (рис. 1). В процесі виробництва, за більш ніж 50 років, накопичено близько 130 млн. м³ хвостів ільменіт-рутил-цирконових пісків. Станом на 2008 р., з урахуванням відпрацьованого потенціалу було прийнято рішення наростити гребінь ГТС та збільшити корисний об'єм чаші хвостосховища на б. Скажена. Тіло греблі до відмітки 128,0 м відсипане із суглинку щільністю $\rho=1,7$ т/м³, а до відмітки 133,0 м виконані роботи по нарощуванню гребеня. Конструктивні параметри споруди наведені на рис. 2. Тип огорожувальної напірної греблі – глуха, ґрунтова, насипна, клас наслідків (відповідальності) СС3. Основа греблі складена жовто-сірими глинами, лесовидними суглинками і пісками.



Рис. 1. Розташування та координати об'єкту досліджень (картографічний online-сервіс SASPlanet)

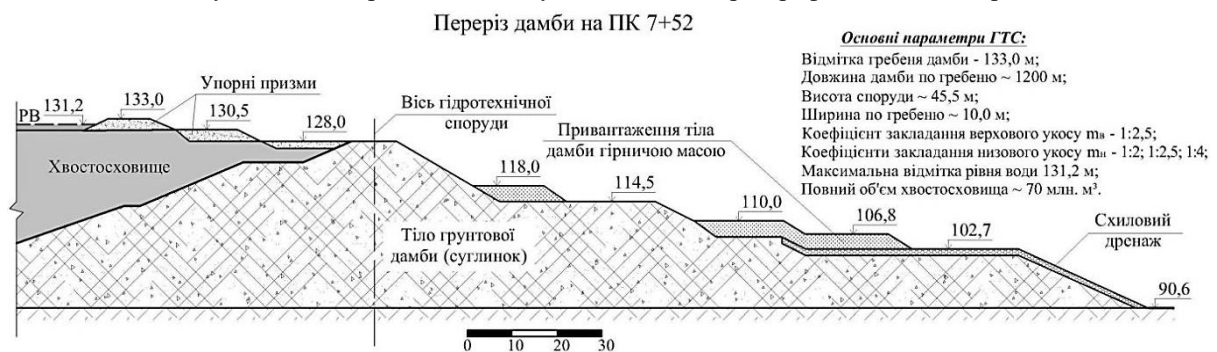


Рис. 2. Конструктивні параметри ґрунтової греблі хвостосховища

Попередніми візуальними обстеженнями та інструментальними дослідженнями встановлено ділянки обводнення, підвищеної фільтрації та різнонапруженого стану ґрунтів в тілі споруди, що може в подальшому спровокувати розвиток аварійних ситуацій. Таким чином, з урахуванням попередніх виконаних авторами досліджень [8, 11], визначена інтегральна оцінка ризику аварії на ГТС, яка встановлюється на основі ступеня небезпеки та рівня вразливості об'єкту, і оцінена за принципом перетину цих подій за формулою [9]:

$$R_a = \lambda \cdot v_y, \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт небезпеки аварії; v_y – коефіцієнт вразливості ГТС.

Коефіцієнт небезпеки (λ) розрахований за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^4 \delta_i \cdot \alpha_i \cdot \lambda_0, \quad (2)$$

де δ_i – коефіцієнт значимості i -го показника небезпеки; α_i – значення коду i -го показника небезпеки; λ_0 – нормуючий коефіцієнт.

Коефіцієнт вразливості (v_y) знайдений за формулою:

$$v_y = \sum_{i=1}^3 \phi_i \cdot \alpha_i \cdot v_0, \quad (3)$$

де ϕ_i – коефіцієнт значимості i -го показника вразливості; α_i – значення коду i -го показника вразливості; v_0 – нормуючий коефіцієнт.

Небезпека аварії на гідротехнічній споруді визначалась за наступними показниками: 1) небезпека перевищення прийнятих при обґрунтуванні конструкції споруди природних навантажень і впливів; 2) обґрунтованість і відповідність проектних рішень сучасним нормативним вимогам; 3) відповідність проекту конструкції споруди, умовам її експлуатації та властивостей матеріалів споруди і основи; 4) можливі наслідки та збитки при аварії ГТС.

По кожному з показників визначено окрему оцінку з урахуванням рекомендацій [9], а отриманий код ступеня небезпеки склав – 2123. На підставі отриманого коду визначений коефіцієнт небезпеки аварії на ГТС $\lambda=0,647$.

Наступним кроком визначено інтегральну оцінку вразливості гідротехнічної споруди, а отриманий код вразливості – 111. За встановленими параметрами значення коефіцієнту вразливості [9] становить $v_y=0,333$.

Таким чином, коефіцієнт ризику аварії $R=0,647 \cdot 0,333=0,215$, що у відповідності до застосованої методики характеризується, як понижений рівень безпечної експлуатації.

У зв'язку з цим актуальними можуть бути прогнозні розрахунки щодо можливих аварійних ситуацій,

пов'язаних з руйнуванням тіла споруди та розливом хвостів збагачення у нижньому б'єфі.

У відповідності до [10], процес руйнування дамби хвостосховища, утворення прорану і витоків є складним. Нерівномірний і неусталений характер руху потоку по всій трасі розтікання обумовлює змінні значення його гідродинамічних параметрів. Схема до розрахунку наведена на рис. 3.

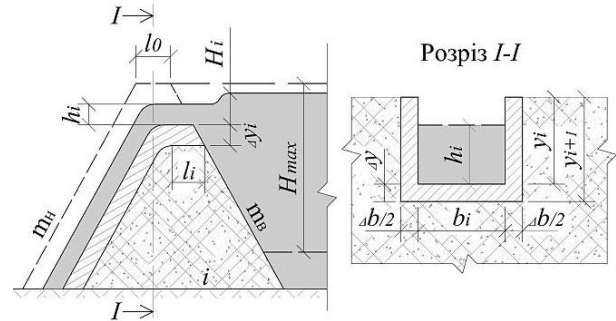


Рис. 3. Схема до розрахунку розмиву прорану в тілі гідротехнічної споруди [10]

За початкові умови розрахунку розмиву елементарного прорану приймається рівність:

$$y_0 = b_0 = h_0 = 0,1H_{max}, \quad (4)$$

де y_0 – початкова глибина прорану, м; b_0 – початкова ширина прорану, м; h_0 – початкова глибина потоку, м.

Задаючи приріст глибини прорану на кожному з розрахункових кроків постійно рівним $\Delta y \leq y_0$, визначений приріст ширини прорану:

$$\Delta b = \Delta y \cdot \frac{y_0}{y_0 + \Delta y}, \quad (5)$$

Приймаючи приріст розмірів прорану (Δy і Δb), визначаємо зменшення глибини потоку ΔH , що витікає з хвостосховища. Розрахунок ведеться методом ітерацій. Визначення параметрів розмиву прорану і потоку виконаний для розрахункового i -го проміжку часу:

$$\text{глибина прорану } y_i = y_{i-1} + \Delta y, \quad (6)$$

$$\text{ширина прорану } b_i = b_{i-1} + \Delta b, \quad (7)$$

$$\text{довжина прорану } l_i = (m_b + m_n) \cdot y_i + l_0, \quad (8)$$

Глибина потоку в прорані:

$$h_i = \frac{2}{3} \cdot H_i, \quad (9)$$

Витрата потоку в прорані:

$$Q_i = m \cdot b_i \cdot H_i^{3/2} \cdot \sqrt{2g}, \quad (10)$$

де m – коефіцієнт водозливу, для нашого випадку приймає рівним 0,31.

Питома витрата потоку в прорані:

$$q_i = \frac{Q_i}{b_i} \cdot 1,373 H_i^{3/2}, \quad (11)$$

Швидкість руху рідини в прорані:

$$u_i = \frac{Q_i}{b_i \cdot h_i} = 2,056 H_i^{3/2}, \quad (12)$$

Нерозмиваюча швидкість руху рідини для незв'язних ґрунтів:

$$u_{oi} = 0,71 \frac{v_j^{0,3} \cdot (g \rho_j)^{0,35} \cdot d^{0,05}}{\sqrt{0,0008 + (0,006 \cdot R_i^{-0,25})}}, \quad (13)$$

де v – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини, $\text{см}^2/\text{с}$; ρ – щільність часток ґрунту, $\text{т}/\text{м}^3$; R_i – гідравлічний радіус потоку для прямокутного перерізу прорану, визначається за формулою:

$$R_i = \frac{b_i \cdot y_i}{b_i + 2y_i}, \quad (14)$$

Величина гідравлічної крупності часток ґрунту, що розмивається в прорані становить:

$$W_o = d \cdot \left(\frac{8 \rho_j}{11,2 \sqrt{v_j}} \right)^{1/1,5}, \quad (15)$$

Час розмиву елементарного прорану складає:

$$\Delta t_i = \frac{2 \rho \cdot \Delta W_i}{\mu_i \cdot Q_i}, \quad (16)$$

де μ_i – транспортуюча здатність потоку; ΔW_i – збільшення об'єму розмитого прорану, м^3 :

$$\Delta W = W_i - W_{i-1} = 0,5(b_i \cdot y_i \cdot l_i - b_{i-1} \cdot y_{i-1} \cdot l_{i-1}), \quad (17)$$

Об'єм рідини, що витікає з хвостосховища за час Δt дорівнює:

$$\Delta V_i = Q_i \cdot \Delta t_i = \frac{2 \rho \cdot d \cdot \Delta W_i}{\mu_i}, \quad (18)$$

Пониження рівня води в хвостосховищі розраховується за формулою:

$$\Delta H_i = \frac{\Delta V_i}{F}, \quad (19)$$

Отримані результати розрахунків представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри формування прорану і потоку рідини при руйнуванні ґрунтової греблі хвостосховища

Приріст глибин прорану Δy , м	Приріст ширини прорану Δb , м	Приріст довжини прорану Δl , м	Глибина потоку в прорані h , м	Глибина шару рідини, що витікає через проран H , м	Витрата потоку в прорані Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Питома витрата потоку в прорані, q , $\text{м}^2/\text{с}$	Швидкість потоку рідини в прорані, U , $\text{м}/\text{с}$	Нерозмиваюча швидкість U_o , $\text{м}/\text{с}$	Гідравлічний радіус R_i , м	Гідравлічна крупність розмив. ґрунтів в прорані W_o , $\text{м}/\text{с}$	Час розмиву елементарного об'єму прорану Δt , с	Збільшення об'єму розмитого прорану ΔW , м^3	Об'єм рідини, що витікає за час Δt , V , тис. м^3	Падіння рівня рідини ΔH_i , м
4,5	4,5	34,8	2,97	0,00	31,6	49,4	3,5	5,61	1,50	0,19	3485	704	110,24	0,03
7,5	7,3	51,3	4,93	7,47	109,9	226,0	4,6	5,92	2,46	0,18	1501	1054	165,05	0,05
10,5	10,5	67,8	6,90	10,45	260,4	619,4	5,4	6,15	3,49	0,17	1393	2316	362,84	0,10
13,5	13,8	84,3	8,84	13,40	499,7	1303,8	6,1	6,32	4,57	0,16	1300	4148	649,83	0,19
16,5	17,4	100,8	10,77	16,31	842,9	2353,5	6,7	6,47	5,69	0,16	1221	6571	1029,49	0,30
19,5	21,0	117,3	12,67	19,20	1302,6	3835,8	7,3	6,59	6,83	0,15	1155	9600	1504,03	0,45
22,5	24,8	133,8	14,55	22,05	1889,2	5811,2	7,8	6,70	7,99	0,15	1098	13245	2075,01	0,64
25,5	28,6	150,3	16,41	24,86	2611,5	8333,0	8,3	6,79	9,16	0,15	1051	17512	2743,53	0,86
28,5	32,5	166,8	18,24	27,64	3476,6	11446,9	8,8	6,88	10,35	0,14	1010	22407	3510,44	1,13
31,5	36,4	183,3	20,05	30,37	4490,2	15189,9	9,2	6,95	11,54	0,14	975	27935	4376,43	1,44
34,5	40,4	199,8	21,82	33,06	5656,4	19589,9	9,6	7,02	12,74	0,14	944	34098	5342,04	1,80
37,5	44,4	216,3	23,56	35,70	6978,0	24664,8	10,0	7,09	13,95	0,14	918	40900	6407,71	2,21
40,5	48,5	232,8	25,27	38,29	8456,1	30421,3	10,3	7,14	15,16	0,14	896	48344	7573,82	2,69
43,5	52,6	249,3	26,94	40,81	10090,4	36854,5	10,7	7,20	16,38	0,13	876	56430	8840,69	3,22
46,5	56,7	265,8	28,56	43,28	11878,8	43946,5	11,0	7,25	17,60	0,13	859	65161	10208,60	3,72
49,5	60,8	282,3	30,22	45,78	13864,4	52016,3	11,3	7,30	18,83	0,13	842	74539	11677,77	4,25
Сума											19526	-	67млн. м^3	-

Висновки

За узагальненими результатами досліджень встановлено наступні показники ризику виникнення аварійної ситуації на ґрунтовій греблі хвостосховища: коефіцієнт небезпеки $\lambda=0,647$, коефіцієнт вразливості $v_y=0,333$, інтегральний коефіцієнт ризику аварії $R=0,215$, що відповідає пониженому рівню безпеки експлуатації ГТС.

Розрахунок параметрів імовірного процесу руйнування та утворення прорану в тілі греблі показує, що загальний час спустошення складає 6 годин. Отримані результати можуть бути підґрунтям для забезпечення надійності і безпеки роботи хвостосховища.

Оскільки процес руйнування ґрунтової ГТС з утворенням прорану характеризується складним, нерівномірним і неусталеним рухом (витоком) відходів, що обумовлює змінні значення його гідродинамічних параметрів, моделювання аварійної ситуації може включати декілька варіантів розвитку, що потребує додаткового розрахунку та уточнення.

Всі типові об'єкти хвостових та шламових господарств гірничо-металургійних та енергетичних підприємств повинні обов'язково мати розроблену документацію з оцінки їх впливу на довкілля. Доцільним є включення до даної документації розрахунків імовірнісних аварійних ситуацій, а також забезпечення плану дій стосовно наслідків гідродинамічної аварії в нижньому б'єфі.

Література

1. Benjamin K. Sovacool, Matthew Kryman, & Emily Laine. (2015). Profiling technological failure and disaster in the energy sector: A comparative analysis of historical energy accidents. *Energy*, 90, 2, 2016-2027. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.043>.
2. M. Rico, G. Benito, & A. Díez-Herrero. (2008). Floods from tailings dam failures. *Journal of Hazardous Materials*. 154, 1-3, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.110>.
3. D. Kossoff, W. E. Dubbin, M. Alfredsson, M. G. Macklin, & K. A. Hudson-Edwards. (2014). Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*. 51, 229-245. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>.
4. Стефанишин, Д. В. Проблеми аварійності дамб хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів [Текст] / Д. В. Стефанишин // Вісник НУВГП. 1997. – №3(39). – С. 118-126.
5. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов [Текст] / С. В. Сольский, Д. В. Стефанишин, О. М. Финагенов, С. Г. Шульман. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». 2006.
6. Стефанишин, Д. В. Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки [Текст] / Д. В. Стефанишин // Гідроенергетика України. 2011. №3-4. 52-60.
7. Сметана, О. М. Літогеохімічна концепція поводження з відходами збагачення руд [Текст] / О. М. Сметана, Н. А. Сметана // Екологія і природокористування. 2011 р. – №14. – С. 178-184.

8. Пикареня, Д. С. Исследования прочностных и фильтрационных свойств гидротехнического сооружения в балке «Скаженная» Вольногорского ГМК [Текст] / Д. С. Пикареня, О. В. Орлинская, А. В. Зберовский, А. М. Лазников // Сборник научных трудов НГУ. 2012. – №37. – С. 310-315.

9. Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<http://www.gostrf.com/normadata/1/4293841/4293841860.htm>

10. Методические рекомендации по расчету развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031995>

11. Гапич, Г. В. Оценка технического состояния грунтовых плотин, как элемента системы экологического мониторинга территорий [Текст] / Г.В. Гапич // Сборник научных трудов НГУ. – 2013. – №42. – С. 168-173.

References

1. Benjamin K. Sovacool, Matthew Kryman, & Emily Laine. (2015). Profiling technological failure and disaster in the energy sector: A comparative analysis of historical energy accidents. *Energy*, 90, 2, 2016-2027. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.043>.
2. M. Rico, G. Benito, & A. Díez-Herrero. (2008). Floods from tailings dam failures. *Journal of Hazardous Materials*. 154, 1-3, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.110>.
3. D. Kossoff, W. E. Dubbin, M. Alfredsson, M. G. Macklin, & K. A. Hudson-Edwards. (2014). Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*. 51, 229-245. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>.
4. Stefanyshyn, D. V. (1997). Problems of accident of dams of tailings dumps of mining and processing enterprises. *Bulletin of the National University of Water and Nature Management*, 3(39), 118-126.
5. Solsky, S. V., Stefanyshyn, D. V., Finagenov, O. M., & Shulman, S. G. (2006). Reliability of drives for industrial and household waste. SPb.: "VNIIG them. B. E. Vedeneeva".
6. Stefanyshyn, D. V. (2011). Predicting accidents on dams in problems of assessment and ensuring their reliability and safety. *Hydropower of Ukraine*, 3-4, 52-60.
7. Smetana, O. M., & Smetana N. A. (2011). The lithogeochemical concept of ore treatment. *Ecology and nature management*, 14, 178-184.
8. Pikarenia, D. S., Orlynskaia, O. V., Zberovsky, A. V., & Laznikov, A. M. (2012). Research assessment of the strength and filtration properties of a hydraulic structure in the Skazhenaya beam of the Volnogorsk mining and metallurgical plant. *Collection of scientific works of NMU*, 37, 310-315.
9. Methodological recommendations for assessing the risk of accidents in hydraulic structures of reservoirs and industrial waste storage facilities (n.d.) Retrieved from: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293841/4293841860.htm>.
10. Methodological recommendations for calculating the development of hydrodynamic accidents at liquid industrial waste storage (n.d.) Retrieved from: <http://docs.cntd.ru/document/1200031995>.
11. Hapich, H. V. (2013). Evaluation of the technical condition of soil dams as an element of the ecological monitoring system of territories. *Collection of scientific works of NMU*, 42, 168-173.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. О.О. Скрипник, Інститут проблем природокористування та екології НАН України, Дніпро, Україна

Автор: ГАПІЧ Геннадій Васильович
кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної інженерії, технології будівництва і захисту довкілля
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
E-mail – gapichgenadii@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5617-3566>

Автор: ПІКАРЕНЯ Дмитро Сергійович
доктор геологічних наук, професор, професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища
Дніпровський державний технічний університет
E-mail – nippel@rambler.ru
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1405-7801>

Автор: РУДАКОВ Леонід Миколайович
кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри водогосподарської інженерії
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
E-mail – elner@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7277-7220>

Автор: МАКСИМОВА Наталія Миколаївна
кандидат технічних наук, доцент кафедри екології
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
E-mail – natashannnnnnn@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1684-7479>

Автор: МАКАРОВА Тетяна Костянтинівна
кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри цивільної інженерії, технології будівництва і захисту довкілля
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
E-mail – Shvydenkotk@i.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7150-6143>

ASSESSMENT OF THE ACCIDENT RISK AND CALCULATION OF THE FAILURE PROCESSES IN TERMS OF THE EARTH DIKE OF A TAILING DAM

H. Napich¹, D. Pikarenia², L. Rudakov¹, N. Maximova¹, T. Makarova¹

¹Dnipro state agrarian and economic university, Dnipro, Ukraine

²Dniprovsk state technical university, Kamianske, Ukraine

A problem of the operational reliability and safety of both tailing dams and sludge collectors of the industrial wastes has been considered. Dangers and threats due to the emergency situations have been demonstrated in terms of the world and national experience of the operation of such objects. Certain irrelevance of modern regulatory conditions of the environmental and technogenic safety provision during the operation of those objects has been emphasized. That is caused mainly by the fact that the collectors were designed and constructed in the last century; moreover, the threats are possible due to their long-term operations without proper engineering and technical maintenance. The research has been carried out involving the conventional methods. Preliminary visual and instrumental diagnostic inspections of the object conditions have been performed; mathematical calculations have been carried out; analytical analysis has been applied. Analysis of technical conditions and accident risks in terms of the earth border dike of a tailing dam has been proposed in the context of the object in Dnipropetrovsk region. It has been identified that under current operating conditions, that hydrotechnical structure has potentially hazardous sites of landslide formations and collapsing of the downstream side due to the filtration deformations. Threat degree $\lambda=0.647$ and vulnerability degree $v_y=0.333$ of the object have been specified on the basis of the conventional methodologies. According to the principle of intersections of those events, integral evaluation of accident risk $R=0.215$ has been defined which corresponds to the decreased safety level of the object operation. Calculation and modeling of the probable development of the earth dike failure have been performed. General indices of the duration of hydrodynamic accident and parameters of the washout formation in the structure body have been identified. Overall time for the tailing dam emptying is about 6 hours. The obtained results can be the basis to provide reliability and safety of the trailing dam operation during the forecasting of accident risks and failure consequences. Compulsory elaboration of the documentation concerning evaluation of the environmental impacts of both tailing dams and slurry collectors has been highlighted. The documentation should include calculations of probable accidents and provide action plan as for the hydrodynamics accident within the tail bay.

Keywords: earth dike, tailing dam, hydrodynamic accident, integral risk evaluation.